해부학적 구조의 공간 인지 향상을 위한 아래이틀신경차단 교육용 3차원 시각화 애니메이션 개발

Abstract: The Inferior Alveolar Nerve Block (IANB) presents challenges in clinical education for dental students due to its complex anatomical structures. Furthermore, conventional 2D educational materials have limitations in enabling a systematic understanding of the three-dimensional relationships among the complex oral mucosa, mandible, and nerve pathways. Therefore, this study aims to overcome the drawbacks of existing 2D materials by developing a 3D animation video that integrally visualizes the anatomical structures and procedural pathways of IANB. The spatial orientation of the mandible was aligned based on cephalometric landmarks. Using high-resolution sculpting in ZBrush alongside animation and rendering in Autodesk Maya, the mandible, nerves, and blood vessels were precisely modeled. The finalized 3D animation comprehensively visualizes the oral mucosa, mandible, and nerve pathways within a single field of view. By rendering the oral mucosa transparent, it clearly demonstrates the spatial relationship between the needle insertion path and the target nerve. To provide an immersive experience similar to an actual clinical environment, an operator's view camera angle and visual emphasis techniques were applied. The content was structured to match the exact clinical sequence, thereby increasing its potential for educational standardization. The final educational video was produced in FHD (Full HD, 1920 × 1080 px) resolution and published on YouTube for public accessibility. This educational video serves as a valuable tool for explaining the fundamental principles of local anesthesia through a three-dimensional understanding of anatomy. Moreover, this visualization-based approach is expected to serve as a

www.kci.go.kr

versatile educational model that can be expanded to various clinical skill training contents.

Keywords: Dental Local Anesthesia, Inferior Alveolar Nerve Block, 3D Animation, Medical Illustration, Anatomical Education Content

www.kci.go.kr

서 론

치과 국소마취(local anesthesia)는 치과 치료에서 통증 조절과 환자의 불안감 감소에 필수적인 술식으로, 입안 내 감각신경의 주행 경로를 정확히 차단해야 하므로 시술자의 높은 숙련도와 해부학적 지식이 요구된다[1]. 아래이틀신경차단(inferior alveolar nerve block, IANB)는 치과 임상에서 가장 널리 시행되는 국소마취술 중 하나이며, 성공적인 시술을 위해서는 구강 점막의 표면 기준점(surface landmarks)과 시작부위에 위치한 턱뼈구멍(mandibular foramen) 사이의 공간적 관계를 정확히 이해하는 것이 필수적이다. 그러나 실제 임상에서는 이러한 구조물을 직접 관찰할 수 없으며, 시술자는 제한된 표면 기준점을 이용하여 깊은 해부학적 구조를 추정해야 한다. 따라서 IANB 교육에서는 단순한 해부학 지식의 습득뿐만 아니라 해부학적 구조 간의 공간적 위치 관계(spatial anatomical relationship)를 정확하게 인지하는 능력이 중요하다. IANB는 해부학적 변이와 시술 난이도로 인해 마취 실패율이 5~20%에 이르며, 주된 원인은 뼈 지표(bony landmarks)로 삼는 아래턱뼈의 구조적 변이나 치과의사의 기술적 오류로 보고되고 있다[2,3]. 따라서 IANB의 적용 원리와 해부학적 구조를 명확히 이해하는 것은 마취 성공률과 술기의 안전성을 높이는 데 중요하다[4-6]. 이러한 점을 고려할 때, 시술자가 복잡한 해부학적 구조와 시술 과정을 직관적으로 이해하고 습득할 수 있도록 표준화된 교육 자료 개발이 필요하다.

기존의 치과 교육 자료는 사진, 해부학 아틀라스 및 2차원 삽화를 중심으로 구성되어 있어 복잡한 해부학 구조의 깊이(depth), 방향(direction), 중첩(overlap) 및 연속성(continuity)을 동시에 전달하는 데 한계가 있다. 또한 실제 임상 영상은 표면 구조만 관찰할 수 있으므로 주사바늘의 진행 경로와 깊은 신경혈관다발 사이의 위치 관계를 직관적으로 이해하기 어렵다. 이러한 제한은 초보 학습자의 공간 인지(spatial cognition)를 저해하고 술기 습득의 어려움으로 이어질 수 있다. 이를 보완하기 위해 실습용 마네킹 등의

www.kci.go.kr

교보재가 활용되어 왔으나, 이 모델은 학습자가 실제 주사 각도와 손의 감각을 익히는 데는 유용하나, 점막 안에 위치한 신경과 혈관의 깊이와 주행 경로를 직접 확인하기는 어렵다[7-10].

이러한 한계를 개선하기 위해서는 언어적 지침과 시각적 이미지를 결합한 시청각 매체 기술을 활용한 교육자료 도입이 중요하다[11,12]. 특히, 입안 점막 내부를 투시하듯이 시각화하여 환자의 입안 내 표면 구조와 내부 해부학적 구조의 위치 관계를 동시에 조망할 수 있는 3D 애니메이션 기반 시각화 교육 자료가 필요하다. 최근 해부학 교육에서는 복잡한 입체 구조를 효과적으로 전달하기 위해 3차원 시각화(three-dimensional visualization)가 적극적으로 활용되고 있다. 특히 3차원 시각화는 구조물 간의 깊이와 위치 관계를 직관적으로 제시하고, 평면의 2차원 자료만으로는 파악하기 어려운 공간 정보를 연속적으로 전달함으로써 해부학적 공간 인지 능력을 향상시키는 교육 방법으로 보고되고 있다[13]. 그러나 기존의 3차원 교육 콘텐츠의 대부분은 단순한 해부학 구조의 재현에 초점을 두고 있으며, 실제 표면 기준점과 깊은 구조를 동시에 연결하여 이해할 수 있도록 설계된 시각화 전략은 아직 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 IANB 교육을 위한 3차원 애니메이션을 개발하고, 점막의 투명화, 다중 시점(dual-perspective visualization), 시술자 시점(operator's view), 단계별 시각화(stepwise visualization) 등의 시각화 전략을 적용하여 표면 해부학과 깊은 구조의 공간적 관계를 효과적으로 전달하고자 하였다. 본 연구는 직접적인 교육 효과를 평가하기 보다는 IANB 교육을 위한 3차원 시각화 콘텐츠의 체계적인 계발과 구현에 초점을 두었다.이를 통해 학습자의 해부학적 공간 인지 능력 향상에 도움을 줄 가능성이 있으며, IANB 술기의 이해와 교육 효율을 높일 수 있는 시각화 기반 교육 모델을 제안하고자 한다.

www.kci.go.kr

연구 방법

1. 영상 기획 및 구성

영상 제작에 앞서 기존 해부학 교과서, 해부학 아틀라스, 치과마취학 교재, 기존 임상 마취 기법 교육 영상을 분석하여 현행 자료의 보완점을 도출하였다. 이를 기반으로 정보 전달 구조를 설계하고 콘텐츠 내용을 구체화하였다. 영상 제작 과정은 Fig. 1과 같이 진행되었다. 각 단계는 정확한 해부학적 정보 전달과 기술적 구현에 초점을 맞추어 구성하였다.

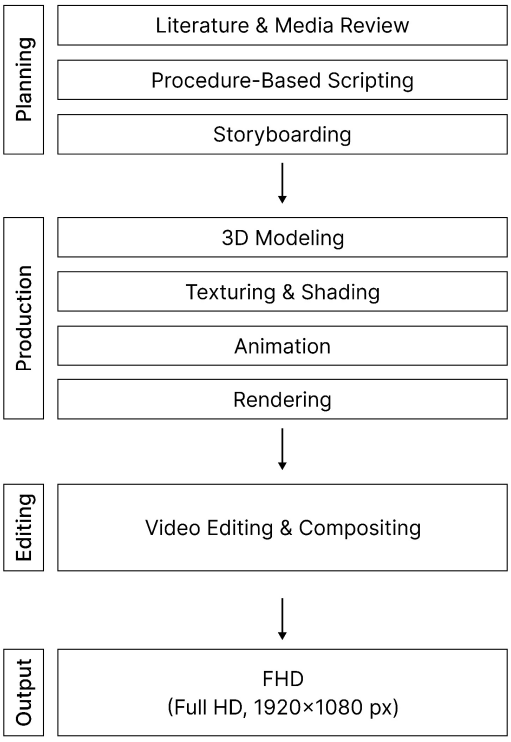


Fig. 1. Production procedures of developing a 3D animation video for the visualization of anatomical structures and procedural pathways for Inferior alveolar nerve block.

www.kci.go.kr

2. IANB 정의 및 단계 분류

영상에서는 IANB 술기의 과정과 해부학적 구조 관계를 명확히 설명하고자, 술기 과정을 단계별로 분류하였다. 실제 임상에서의 판단 순서에 맞추기 위해 전체 과정을 13단계로 구성하였다. 술기 과정은 전문가의 자문을 거쳐 내용의 정확성을 높였다(Table 1).

Table 1. 13-Step protocol for Inferior alveolar nerve block.

Criteria	Clinical Procedure / Steps	Script Summary
Fundamentals of Dental Anesthesia	13 local anesthesia techniques	Explains 13 local anesthesia techniques currently utilized in clinical practice.
	3 types of local anesthesia	Administers dental local anesthesia via three modalities: block, infiltration, and topical anesthesia.
	Pain relief mechanism of block anesthesia	Demonstrates how block anesthesia effectively mitigates pain during dental treatment by anesthetizing a broad anatomical region.
	Definition of anesthetic technique	Defines inferior alveolar nerve block (IANB) as the blockade of the inferior alveolar nerve prior to its entry into the mandibular foramen.
Anatomical Scope of Anesthesia	Extent of anesthetic effect	Blocks sensation comprehensively across the teeth spanning from the mandibular first molar to the midline, including adjacent soft tissues.
Procedural Preparation	Topical anesthesia prior to injection	Applies topical anesthesia utilizing a Xylocaine spray formulation intended for local anesthesia before needle insertion.
	Types of anesthetic needles	Uses 25G and 27G dental needles with a length of 30 mm or greater.
Anatomical Landmarks	Preparation for clinical procedure	Identifies the injection site superior to the posterior molars following retraction of the patient's buccal mucosa.
	Anatomical landmarks	Verifies the anatomical landmarks situated between the pterygomandibular fold and the coronoid notch.
	Injection site	Targets the midpoint between the two landmarks, located approximately 1cm superior to the occlusal plane of the mandibular first molar.
	Needle angulation and anesthetic deposition	Instructs to approach from the contralateral premolar angle, contact the mandibular bone, and subsequently deposit the anesthetic solution.

www.kci.go.kr

Precautions	Anatomical damage and precautions	Cautions against deep needle insertion to prevent inferior alveolar neurovascular bundle.
Summary		Summarizes the key take-home messages and core clinical concepts of the educational video.

3. 제작 방법 및 과정

1) 영상 제작 계획 및 기획

영상 제작에 앞서 제작 의도에 맞는 최종 결과물을 도출하고자 영상의 목적, 영상 길이, 디자인 구성 요소를 구체적으로 설정하여 영상을 기획하였다. 본 영상은 치과대학생 교육 자료로 활용하는 것을 목적으로 개발되었으므로, 정확한 정보 전달과 학습자의 몰입감 확보에 초점을 맞췄다. 선행 연구에 따르면 10 분 이내의 짧은 영상은 학생들의 시청 완료율과 참여도를 높이는 데 도움이 될 수 있다[14]. 이에 본 연구에서는 전체 영상 길이를 2 분 30 초로 설정하였다. 영상 콘텐츠의 임상적 정확성을 확보하기 위해 임플란트 수술 및 사랑니 발치 등 외과적 치과 진료 경험이 있는 치과의사의 자문을 받아 술기 과정과 해부학적 표현을 검토하였다. 실제 임상에서의 판단 순서에 맞게 전문가 검토 의견을 바탕으로 IANB 술기 과정을 총 13 단계로 세분화하여 체계적인 스크립트로 구성했으며, 전문 용어 표기 수정 및 보완하는 절차를 거쳤다. 자막은 한국어를 기본으로 하되 전문 임상 용어는 영어로 표기하여 교육적 정확성을 높였다.

2) 해부학적 구조물 모델링 및 텍스처링

3D 애니메이션 제작에 앞서 영상 제작에 필요한 3D 오브젝트들을 파악하기 위하여 전문가의 자문을 받아 세부 항목을 계획하였다. IANB 의 시각적 설명을 위하여 3D 오브젝트 제작 및 텍스처링에 활용된 소프트웨어는 Table 2 와 같다.

Table 2. Software utilized for 3D modeling and texturing in inferior alveolar nerve block visualization.

3D Object	Modeling Software	Texturing Software

www.kci.go.kr

Head	MetaHuman Creator (Epic Games, Cary, North Carolina, USA)	MetaHuman Creator (Epic Games, Cary, North Carolina, USA)
	Autodesk Maya 2024 (Autodesk, San Rafael, California, USA)	
	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)	
Mandible	Autodesk Maya 2024 (Autodesk, San Rafael, California, USA)	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)
	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)	
Teeth	Autodesk Maya 2024 (Autodesk, San Rafael, California, USA)	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)
	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)	
Oral mucosa	Autodesk Maya 2024 (Autodesk, San Rafael, California, USA)	Adobe Substance 3D Painter 2024 (Adobe, San Jose, California, USA)
	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)	
Tongue	Autodesk Maya 2024 (Autodesk, San Rafael, California, USA)	Adobe Substance 3D Painter 2024 (Adobe, San Jose, California, USA)
	ZBrush 2023.1 (Maxon, Friedrichsdorf, Germany)	

(1) 인체 모델링

영상의 환자 얼굴 모델은 ZBrush 에서 제공하는 기본 인체 모델링을 동양인 얼굴 형태로 재가공하여 1 차 모델링을 진행하였다. 이후 데이터 최적화와 안정적인 애니메이션 구현을 위해 Maya 에서 1 차 얼굴 모델링을 불러와 면의 흐름을 사각 폴리곤 구조(quad topology)로 재배치하는 리토폴로지(retopology) 작업을 수행해 최종 모델링을 완성하였다(Fig. 2).

www.kci.go.kr

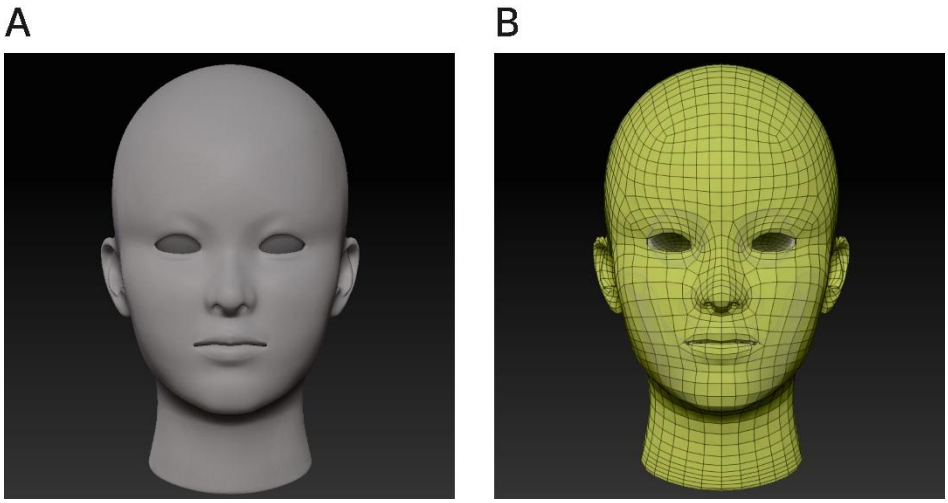


Fig. 2. Facial modeling and retopology for the patient model. (A) Initial ZBrush sculpting of an Asian face; (B) Maya retopology result optimized for edge flow.

최종 얼굴 모델은 Unreal Engine 5 의 Mesh to MetaHuman 기능을 활용해 머리카락, 피부 표현 등의 세부적인 외형 표현을 보완하였다(Fig. 3).

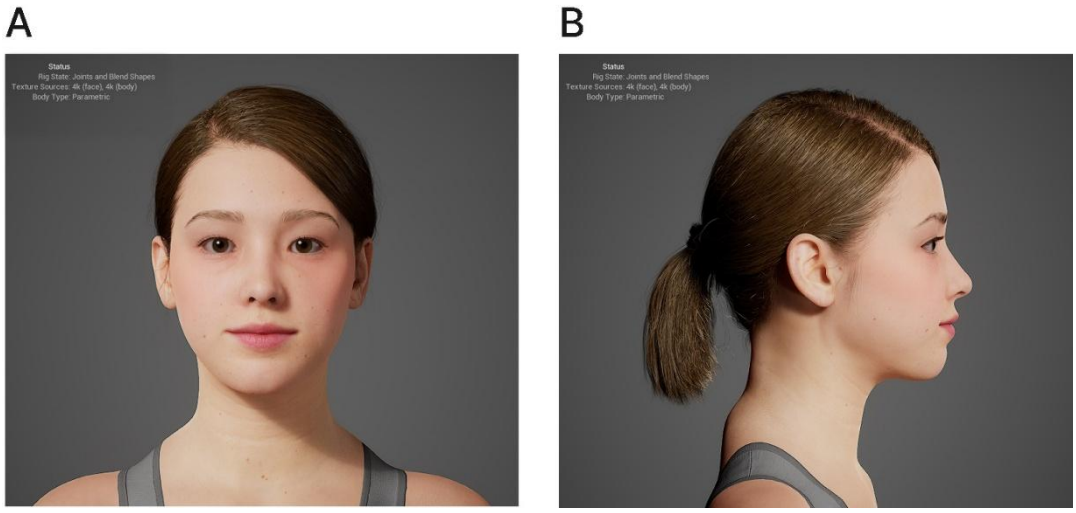


Fig. 3. The final output of the secondary processing and refinement based on the primary base mesh extracted using the Mesh to MetaHuman feature in Unreal Engine 5. (A) Anterior view; (B) Right lateral view.

(2) 해부학적 자세 기반 아래턱뼈 및 치아 모델링

턱뼈와 치아 모델링에 앞서 해부학적 정확성을 확보하고자, 선행 문헌[15,16]을 참고하였다. 머리뼈계측 지표(cephalometric landmarks)를 기준으로 환자 얼굴 모델과

www.kci.go.kr

아래턱뼈(mandible), 치아(teeth)의 위치를 정렬하였다(Fig. 4). 참고한 선행 문헌의 머리뼈계측 지표는 다음과 같다(Table 5). 아래턱뼈의 큰 틀은 ZBrush 에서 1 차 제작하고, 이후 Maya 에서 진행하였다. 아래턱뼈의 안쪽 면에 위치한 턱뼈구멍(mandibular foramen)을 지나 턱끝구멍(mental foramen) 방향으로 주행하는 아래이틀신경과 혈관의 주행 경로를 Maya 의 Wireframe 기능을 활용하였다(Fig. 5).

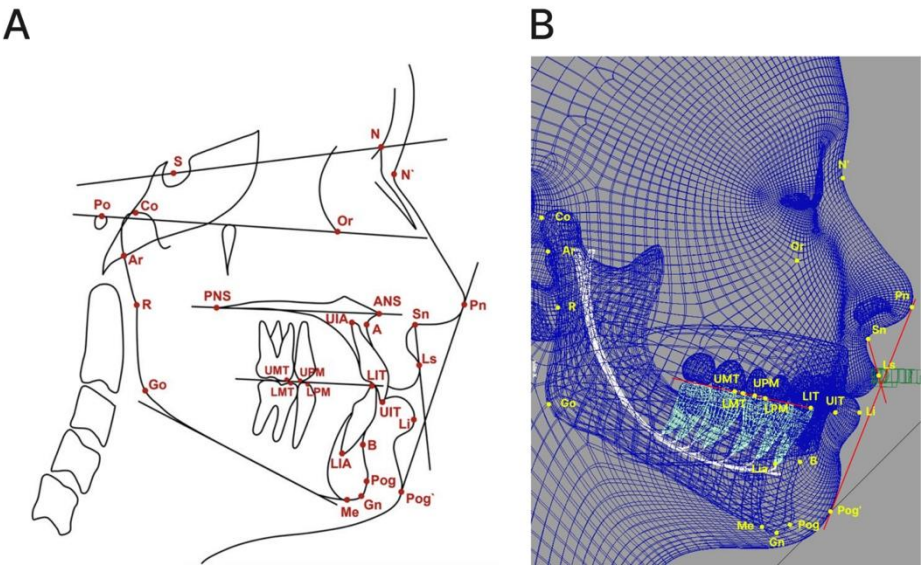


Fig. 4. Cephalometric landmarks. (A) Reference schematic diagram of cephalometric landmarks (adapted from Khalid et al., 2025, licensed under CC BY 4.0); (B) 3D mesh model with landmarks mapped for mandibular position verification based on the reference diagram.

Table 5. A list of annotated cephalometric in our dataset, including detailed clinical descriptions.

Landmarks	Symbol	Category	Clinical Desecription
Soft Tissue Nasion	N'	Soft Tissue	Point on soft tissue over nasion.
Pronasale	Pn	Soft Tissue	Tip or apex of external nose.
Subnasale	Sn	Soft Tissue	In the midline, the junction where the base of the columella of the nose meets the upper lip.
Labrale inferius	Li	Soft Tissue	Most prominent point on the vermilion border of the lower lip in midsagittal plane.
Soft Tissue Pogonion	Pog'	Soft Tissue	Soft tissue over pogonion.

www.kci.go.kr

Orbitale	Or	Skeletal	The lowest point on the inferior margin of the orbit.
B point (Supramentale)	B	Skeletal	The innermost point on the contour of the mandible between the incisor tooth and the bony chin.
Pogonion	Pog	Skeletal	The most anterior point on the contour of the chin.
Gnathion	Gn	Skeletal	Point located perpendicular on the mandibular symphysis midway between pogonion and menton.
Menton	Me	Skeletal	The most inferior point on the mandibular symphysis that is the bottom of the chin.
Condylion	Co	Skeletal	Most posterior/superior point on the condyle of the mandible.
Articulare	Ar	Skeletal	The point of intersection between the shadow of the zygomatic arch and the posterior border of the mandibular ramus.
Ramus	R	Skeletal	The most convex point on the posterior border of the ramus along the vertical.
Gonion	Go	Skeletal	The midpoint of the contour connecting the ramus and body of the mandible.
Lower Incisor Tip	LIT	Dental	Incisal edge of the lower central incisor.
Upper 2nd PM Cusp Tip	UPM	Dental	Buccal cusp tip of upper 2nd premolar.
Lower 2nd PM Cusp Tip	LPM	Dental	Buccal cusp tip of lower 2nd premolar.
Upper Molar Cusp Tip	UMT	Dental	Mesiobuccal cusp tip of upper 1st molar.
Lower Molar Cusp Tip	LMT	Dental	Mesiobuccal cusp tip of lower 1st molar.

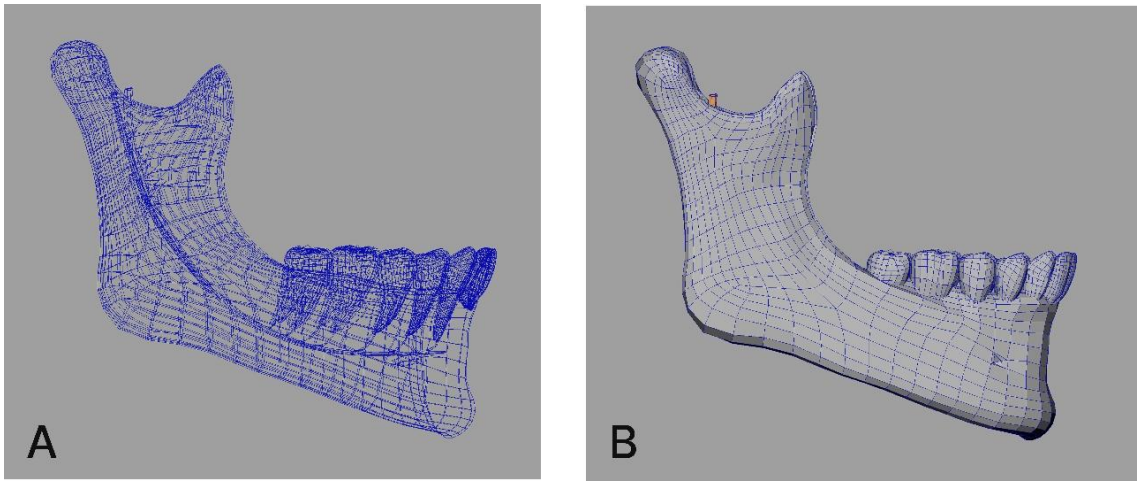


Fig. 5. 3D modeling process of the mandible and inferior alveolar neurovascular pathway. (A) Wireframe view displaying the internal course of the inferior alveolar

www.kci.go.kr

nerve and vessels traveling from the mandibular foramen to the mental foramen; (B) Final wireframe and shaded model of the mandible's medial aspect after path generation.

(3) 텍스처링

최종 모델링은 실제 입안 구조와 유사한 색감과 질감을 구현하기 위해 텍스처링 과정을 진행하였다. 텍스처링에 앞서 2 차원 텍스처 이미지를 3 차원 모델의 표면에 정확한 위치와 비율로 적용하기 위해 각 모델의 UV 매핑을 수행하였다(Fig. 6). 턱뼈와 치아는 ZBrush 프로그램의 Brush 도구를 활용해 색감을 입히고 질감을 묘사하였다. 환자 모델의 텍스처링은 MetaHuman 에서 2 차 가공할 때 활용되었던 텍스처링 파일(Fig. 7)을 사용하였다. 입안 점막과 혀는 실제 입안 색감을 사용하면서 사실적인 묘사를 진행하였다.

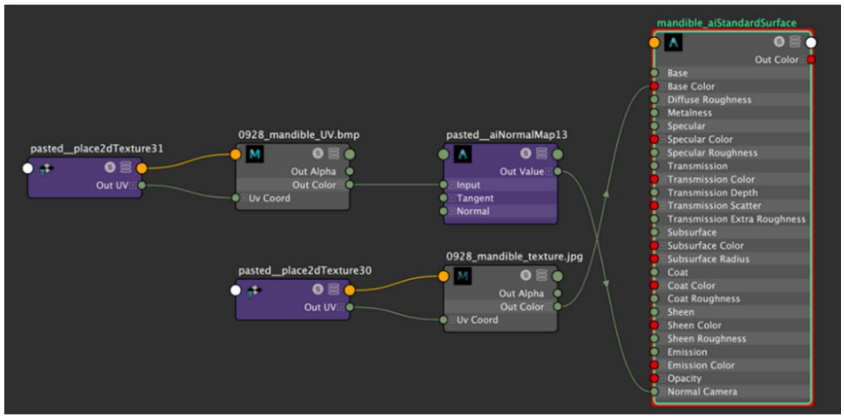


Fig. 6. Node connection workflow within Autodesk Maya's Hypershade for implementing high-resolution details (subdivision level 5) on the final model. The aiNormalMap is activated by linking its 'Out Value' attribute to the 'Normal Camera' input of the aiStandardSurface shader, ensuring artifact-free rendering of surface details.

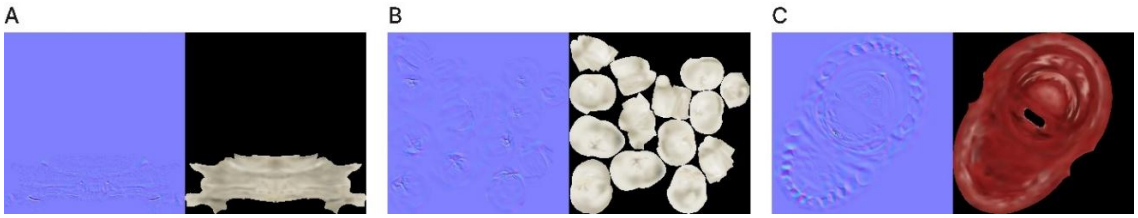


Fig. 7. Texture maps for realistic rendering of intraoral structures. These maps consist of normal maps (left) and albedo maps (right) to replicate actual clinical coloration and micro-surface details. (A) Teeth texture; (B) Gingiva texture; (C) Oral mucosa and tongue texture.

(4) 카메라 설정

www.kci.go.kr

본 연구에서 영상 제작에는 Maya 를 활용하였다. 입안 내부 구조의 위치 관계를 효과적으로 보여주기 위해 Maya 의 Camera 기능을 활용했다. 아래턱뼈(mandible), 아래이틀신경(inferior alveolar nerve), 아래이틀동맥(inferior alveolar artery), 아래이틀정맥(inferior alveolar vein)의 주행 경로가 동시에 노출되어 목구멍 깊숙한 곳까지 잘 보이도록 카메라를 위치시켰다. 특히 치과의사가 환자의 입안을 보는 Top-View 시점을 반영하여 현장감을 높였다. 주사 위치와 주의사항을 효과적으로 전달하기 위해, 의사가 입안 점막에 주사바늘을 넣는 시점과 턱뼈구멍이 보이는 시점에서 주사기가 아래이틀신경에 닿아 마취제가 주입되는 시점을 분할 화면으로 동시에 제시하여 동일 해부학 구조를 다각도에서 보여줌으로써 학습자의 이해를 돕고자 하였다. 이를 통해 학습자가 신경 위치를 명확히 파악할 수 있도록 하였다(Fig. 8).

실제 치과 진료 환경과 유사한 시야를 구현하기 위해 조명 설정을 적용하였다. 무영등과 유사한 효과를 구현하기 위해 Maya 의 Area Light 기능을 활용하였으며, 구조물이 명확히 보이도록 조명의 밝기와 노출 값을 조정하였다(Fig. 9).

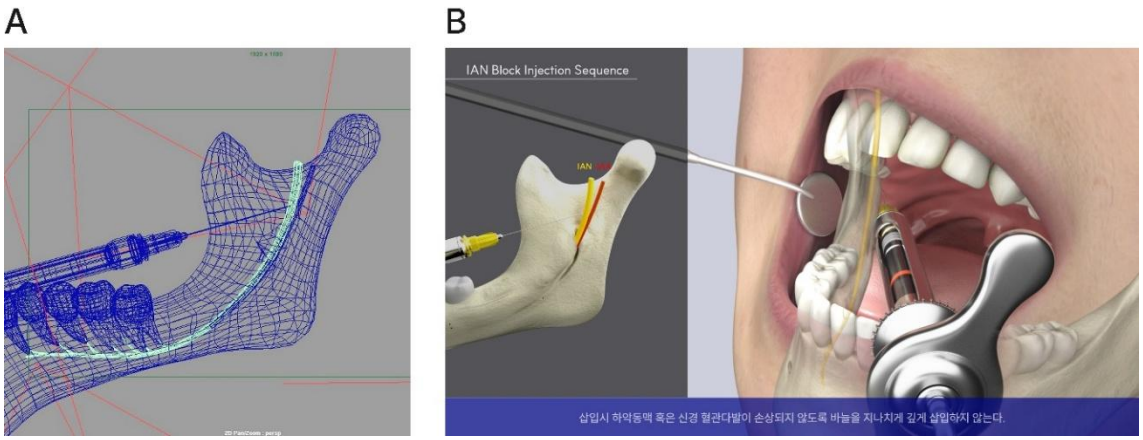


Fig. 8. Multi-angle perspective of the inferior alveolar nerve block (IANB) using the Maya camera. (A) Bone-only isolated view tracking the simulated anesthetic infiltration near the mandibular foramen; (B) Clinician' s view with a transparency imaging effect to demonstrate the spatial relationship between the superficial oral mucosa and the underlying IAN.

www.kci.go.kr

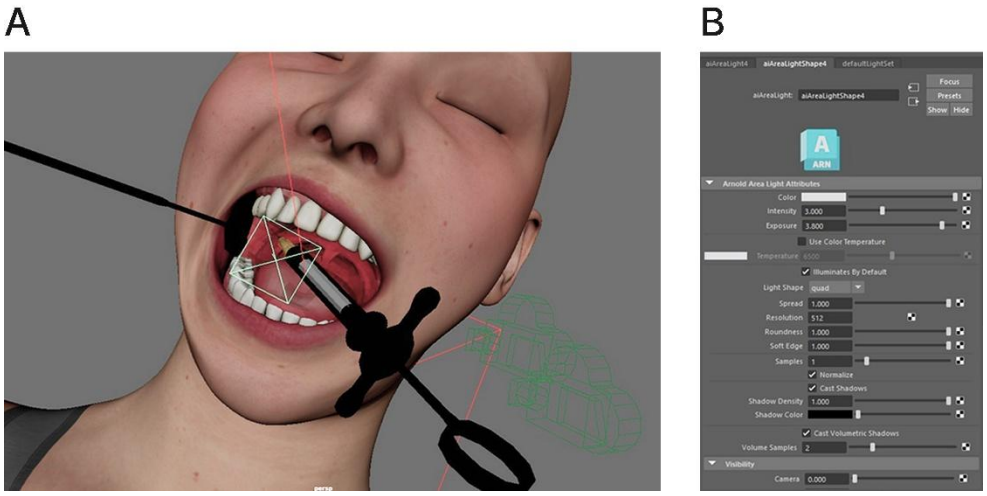


Fig. 9. Maya Area Light setup simulating dental operatory illumination, positioned deep within the oral cavity for clinical visibility.

(5) 애니메이팅

교육 영상의 흐름에 맞추어 3D 오브젝트의 움직임과 장면 전환을 구성하였다. 술기 준비 단계의 기구 설명에는 Illustrator 로 제작한 그래픽 요소를 활용하였고, After Effects 에서 영상을 편집하였다. 3D 오브젝트는 Maya 의 keyframe 기능을 이용하여 장면 간 전환이 자연스럽게 이어지도록 구성하였다.

(6) 렌더링 및 후반 작업

본 연구의 영상은 Maya 의 Arnold Renderer 기능과 고화질 렌더링을 빠르게 출력하는 데 강점을 가진 Unreal 프로그램을 활용하여 FHD(Full HD, 1920 × 1080 px) 해상도로 최종 영상 결과물을 도출하였다.

www.kci.go.kr

결 과

1. 해부학적 시각화 요소의 구현

최종 제작된 3D 애니메이션에는 IANB 교육을 위한 총 7가지의 시각화 전략을 적용하였다(Table 6). 각 기법은 해부학적 구조의 공간적 관계를 명확하게 전달하고 술기의 이해 향상을 위한 목적으로 설계되었다.

Table 6. Visualization strategies implemented in the educational animation.

Visualization	Educational purpose
Anatomical highlighting	Highlighting key anatomical landmarks
Step-by-step animation	Sequential understanding of procedural steps
Dynamic needle trajectory	Continuous needle tracking and depth mapping
Operator's view camera	Replication of actual clinical field of view
Dual-perspective visualization	Simultaneous visualization of operator perspective and internal anatomical structures
Transparent oral mucosa	Concurrent observation of mucosal and deep anatomical structures
Color coding	Application in the differentiation of nerves, arteries, veins, and bone tissues

2. 공간적 해부학 구조의 표현

기존의 2 차원 교육자료에서는 점막, 뼈, 신경 및 혈관이 각각 분리되어 제시되는 경우가 많았다. 본 연구에서는 점막의 투명도를 조절하여 표면 해부학적 기준점과 깊은 구조를 하나의 화면에서 동시에 제시하였다(Fig. 8). 이를 통해 학습자는 바늘의 삽입 위치와 아래이틀신경 및 신경혈관다발의 공간적 위치 관계를 연속적으로 확인할 수 있었다.

3. 다중 시점(Multi-perspective) 시각화

애니메이션은 실제 시술자의 시야를 반영한 시술자 시점(operator's view)을 기본으로 설정하였다. 주사 부위와 주의사항을 효과적으로 전달하고자, 턱뼈구멍(mandibular

www.kci.go.kr

foramen)이 보이는 시점에서 주사바늘이 아래이틀신경 부위에 닿아 마취제가 주입되는 장면을 분할 화면으로 동시에 제시하여 해부학 구조를 다각도에서 보여줌으로써 학습자의 이해를 돕고자 하였다(Fig. 8). 외부에서 관찰되는 해부학적 기준점과 내부 신경의 위치를 동일한 장면에서 비교할 수 있도록 구성하여, 기존의 단일 시점 교육자료에서 확인하기 어려운 공간적 관계를 표현하였다.

4. 해부학적 구조의 시각적 구분

신경, 동맥, 정맥 및 뼈는 서로 다른 색상과 명도를 적용하여 구분하였다. 또한 바늘의 이동 경로를 애니메이션으로 표현하여 목표 구조물과의 상대적 위치를 쉽게 식별할 수 있도록 구현하였다.

5. 단계별 술기 표현

영상은 실제 임상에서의 판단 순서에 맞게 전문가 자문을 받아 IANB 과정을 총 13 단계로 구성하였다(Table 1). 각 단계에서는 해당 단계의 목표 해부학 구조와 핵심 술기를 순차적으로 제시하였으며, 최종 단계에서는 바늘의 위치와 마취제 주입 위치를 동시에 제시하였다.

www.kci.go.kr

고 찰

본 연구는 아래이틀신경차단 교육에 사용되는 치의학 교재 및 실습 영상 자료를 분석하여 한계점과 보완점을 도출하고, 이를 극복하는 3D 시각화 기술을 활용한 교육용 애니메이션 영상을 제작하였다. 기존의 2D 교육 자료나 마네킹 중심의 실습은 복잡한 입안의 해부학적 구조를 평면적으로만 전달하는 한계가 있었다. 또한 실제 임상에서는 점막 아래의 신경과 골조직을 직접 관찰할 수 없다. 그러나 학습자는 점막이라는 표면 구조와 내부 해부학 구조를 동시에 연결하여 이해해야 한다.

이러한 한계점을 보완하기 위해 본 연구에서는 점막의 투명도를 조절하여 표면의 해부학적 기준점과 내부 구조를 동시에 제시하였다. 과도한 바늘 삽입이나 부적절한 주사 위치는 혈관 손상에 따른 혈종 형성, 혈관 내 주입 및 신경 손상 등의 합병증을 유발할 수 있으므로[17], 신경혈관다발의 해부학적 위치를 정확히 이해하는 것이 중요하다. 따라서 본 영상에서는 아래이틀신경뿐만 아니라 아래이틀동맥과 아래이틀정맥을 함께 시각화하여 신경과 혈관의 공간적 위치 관계를 동시에 이해할 수 있도록 설계하였다.

기존의 2 차원 교육 자료는 복잡한 해부학적 구조의 공간 관계를 이해하는 데 한계가 있다. 반면, 3 차원 시각화는 구조물 간의 깊이와 위치 관계를 직관적으로 제시하여 공간 인지 능력을 향상시키는 것으로 보고되고 있다. Yammine 과 Violato 의 메타분석에서는 3 차원 시각화 기술이 해부학 교육에서 학습 효과를 유의하게 향상시키는 것으로 나타났으며[13], Nicholson 등은 3 차원 해부학 모델이 복잡한 해부학 구조의 이해에 효과적임을 보고하였다[18]. 또한 Mayer 의 멀티미디어 학습이론에 따르면 시각 정보와 언어 정보를 통합하여 제시하는 교육은 학습자의 인지부하를 감소시키고 이해와 기억을 향상시킬 수 있다[19]. 본 연구에서 적용한 투명화 기법, 다중 시점(dual-perspective), 단계별 시각화는 이러한 교육 원리에 기반하여 해부학적 공간 관계를 효과적으로 전달하기 위한 시각화 전략으로 해석될 수 있다. 특히 해부학 구조를 서로 다른 관점에서 관찰하는

www.kci.go.kr

것은 구조물 간의 공간적 관계를 파악하는 데 유용하다. Garg 등[20]의 연구에 따르면, 학습자가 다양한 관점에서 대상을 관찰하는 것이 공간 학습 효과가 유의하게 향상됨이 입증된 바 있다. 이에 본 연구에서는 시술자 시점(operator's view)과 내부 시점을 함께 제시함으로써, 표면 기준점과 깊은 해부학 구조 간의 공간적 위치 관계를 입체적으로 이해할 수 있도록 제작하였다. 영상 자료의 장점은 공간의 제약 없이 효과적으로 학습할 수 있으며 반복 학습이 가능하다. Castillo 등[12]의 연구에서는 수십 년간의 연구는 영상이 학습을 향상시키는 데 사용될 수 있음을 입증해왔다고 말하며, 언어적 지침과 시각적 이미지를 결합하면 학생들의 회상 및 기억 유지 능력이 현저하게 증가함을 나타낸다.

기존 교육에서는 연속적인 술기 과정이 하나의 영상으로 제시되어 학습자가 핵심 절차를 구분하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 초보 학습자들이 빈번하게 실수하는 지점을 보완하고 임상 의사결정 흐름을 돕고자, 술기를 13 개의 독립된 단계로 세분화하여 각 단계의 해부학적 목표와 주의점을 명확히 제시하였다. 특히 각 단계별 핵심 술기와 임상적 주의사항을 명확히 시각화함으로써, 학습자가 절차를 체계적으로 이행하고 시술 오류를 최소화할 수 있도록 교육 자료를 보강하였다. 단계별로 목표와 주의점을 강조하면 평가와 피드백이 용이해지고, 표준화된 교육이 가능하다.

IANB 는 해부학 구조 자체보다 공간 방향 인지가 중요한 술기이다. 따라서 실제 시술자가 환자의 구강을 바라보는 방향과 동일한 시점을 적용함으로써, 학습자가 임상에서 경험하게 될 공간 좌표계를 그대로 학습할 수 있도록 하였다. 특히, 주사바늘의 삽입 위치를 보여주는 외형 시점과 약물이 실제로 주입되는 내부 신경의 위치를 보여주는 시점을 한 화면에 동시에 연출(dual-perspective)하거나 연속적으로 배치함으로써, 복잡한 해부학적 층위(layer)를 계단식으로 이해할 수 있도록 유도하였다. 이를 통해 학습자는 시술 각도와 침투 깊이의 역동적인 변화를 입체적으로 이해하고 실제 임상 환경에서 요구되는 공간적 판단력 향상에 도움을 줄 수 있는 교육 보조자료로 활용될 수 있다.

www.kci.go.kr

한편, 증강현실(AR)이나 가상현실(VR) 기반 교보재는 전용 장비 구비 및 공간 확보 등의 요구조건으로 실제 교육 현장에서의 즉적적인 활용에 어려움이 따른다. 반면 별도의 장비 없이 개인 모바일 기기로도 접근 가능한 3 차원 영상 매체는 공간과 비용 제약 없이 높은 접근성과 학습 편의성을 제공한다. 이에 최종 영상은 영상매체의 활용을 통해 학생들의 교육자료 접근성을 높이고자 YouTube 플랫폼에 영상을 업로드하였다. 업로드 된 최종 영상은 Fig. 10 과 동일하며 FHD(Full HD, 1920 × 1080 px) 해상도로 배포하였다.

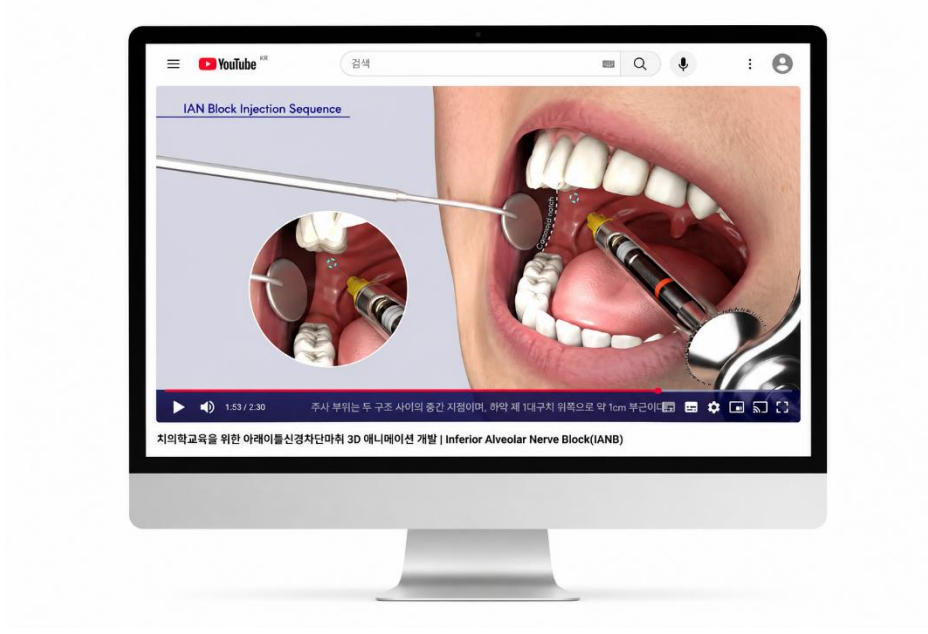


Fig. 10. Conceptual plan of the 3D educational guide utilizing YouTube as the delivery medium, which is currently published and accessible on the platform. The video can be accessed from the following link: https://youtu.be/k8ebxIzh_V0.

본 영상 제작 이후, 영상의 전체 내용을 시각화하여 인포그래픽 형태로 포스터를 제작하였다. 최종 포스터는 Fig. 11 과 같으며 A0(1189 × 841 mm) 크기로 제작하였다. 포스터 상단에는 영상을 요약한 설명 글과 마취 술기에 사용되는 기구들을 배치하였다. 포스터 좌측에는 중요 신경과 술기 과정을 간략하게 정리하였고, 포스터 배경에는 환자의 입안이 보이게 크게 배치하고, 점막 안쪽의 해부학적 구조를 설명하는 일러스트와 내용을 겹치게 배치함으로써 학습자가 해부학적 구조를 한눈에 볼 수 있도록 하였다.

www.kci.go.kr



Fig. 11. Educational poster demonstrating the procedure of inferior alveolar nerve block (IANB) alongside major anatomical landmarks, mandible, and the inferior alveolar nerve.

그러나 본 연구의 시각 자료는 일반적인 해부학적 기준을 바탕으로 모델링되었으며, 다양한 환자군의 해부학적 변이를 반영하지 않은 한계가 있다. 향후 연구에서는 다양한 해부학적 변이 유형과 마취 실패 원인에 대한 시각화를 추가함으로써, 보다 포괄적인 교육 자료로 확장할 필요가 있다. 또한 아래이틀신경차단에 국한되어 있어 다른 국소 마취 기법에 대한 교육 적용 가능성은 제한적이므로, 향후 연구에서는 고령 환자의 무치악이나 아래턱뼈 흡수 상태등을 모사한 다양한 임상 상황 및 마취 기법에 대한 시각화 자료 개발이 필요하다.

www.kci.go.kr

결 론

본 연구는 아래이틀신경차단 교육 시 발생하는 기존 2D 교재 및 마네킹 실습의 공간적·시각적 한계를 보완할 수 있는 3D 교육용 시각 자료를 제작하였다. ZBrush 기반의 모델링을 통해 아래턱뼈 내 아래이틀신경, 동맥, 정맥의 주행 경로를 명확히 식별할 수 있도록 하였으며, 마취제 주입 과정 등을 다각도 시점으로 연출하여 정보를 직관적으로 전달하고자 하였다. 따라서 본 연구의 결과물은 기존의 정적인 교육 방식을 보완하는 교육 보조자료로서의 활용 가능성이 있으며, 향후 치의학 교육 과정 전반에서 높은 활용 가치를 지닐 것으로 전망된다.

www.kci.go.kr

REFERENCES

1.Alzahrani NA, et al. Pain Management in Dentistry: Current Strategies and Emerging Technologies. J Int Crisis Risk Commun Res. 2025;48:759.

2.Kim MK, Paik KS, Lee SP, et al. A clinical and anatomical study on the mandible for inferior alveolar nerve conductive anesthesia in Korean. Korean J Phys Anthropol. 1995;8:157-173.

3.Khalil H. A basic review on the inferior alveolar nerve block techniques. Anesth Essays Res. 2014;8:3-8.

4.Hwang KG. Proposal for clinical guidelines (guidelines) for local anesthesia in dentistry. J Korean Dent Assoc. 2023;61:307-10.

5.Asghar A, Priya A, Ravi KS, Iwanaga J, Tubbs RS, Naaz S, Panchal P, et al. An evaluation of mandibular canal variations: a systematic review and meta-analysis. Anat Sci Int. 2023;98:176-184.

6.Deo SP, Ahmad MS, Singh A, et al. Effectiveness of dexamethasone of adrenaline with lignocaine 2% for prolonging inferior alveolar nerve block : a randomized controlled trial. Res J Pharm Technol. 2023;16(1):21-32.

7.Liu K, Liu S, Ma Y, Jiang J, Liu Z, Wan Y, et al. Comparison of blended learning and traditional lecture method on learning outcomes in the evidence-based medicine course: a comparative study. BMC Med Educ. 2024;24:680.

www.kci.go.kr

8.Lautrette A, Schwebel C, Gruson D, Talbot RW, Timsit JF, Souweine B, et al. Transfer of take-home messages in graduate ICU education. Intensive Care Med. 2011;37:1328-30.

9.Brand HS, Tan LL, Van der Spek SJ, Baart JA, et al. European dental students' opinions on their local anaesthesia education. Eur J Dent Educ. 2011;15:47-52.

10.López-Cabrera C, Hernández-Rivas EJ, Komabayashi TG, Galindo-Reyes EL, Tallabs-López D, Cerda-Cristerna BI, et al. Positive influence of a dental anaesthesia simulation model on the perception of learning by mexican dental students. Eur J Dent Educ. 2017;21:e142-7.

11.Nicolaou C, Matsiola M, Kalliris G, et al. Technology-Enhanced Learning and Teaching Methodologies through Audiovisual Media. Educ Sci. 2019; 9:196.

12.Castillo S, Calvitti K, Shoup J, Rice M, Lubbock H, Kendra H. Oliver, et al. Production Processes for Creating Educational Videos. CBE Life Sci Educ. 2021;20:es7.

13.Yammine K. Violato C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. Anat Sci Educ. 2015; 8:525-38.

14.Guo PJ, Kim J, Rubin R. How video production affects student engagement: An empirical study of MOOC videos. Proc ACM Conf Learn Scale. 2014;2014:41-50.

www.kci.go.kr

15.Davidovitch M, Sella-Tunis T, Abramovicz L, Reiter S, Matalon S, Shpack N, et al. Verification of convolutional neural network cephalometric landmark identification. Appl Sci. 2022;12:12784.

16.Khalid MA, Zulfiqar K, Bashir U, Shaheen A, Iqbal R, Rizwan Z, et al. A benchmark dataset for automatic cephalometric landmark detection and CVM stage classification. Sci Data. 2025;12:1336.

17.Meechan, J. How to overcome failed local anaesthesia. Br Dent J. 1999;186:15-20.

18.Nicholson DT, Chalk C, Funnell WR, Daniel SJ. Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model. Med Educ. 2006;40:1081-7.

19.Mayer RE. Multimedia Learning. 3rd ed. New York: Cambridge University Press; 2021.

20.Garg AX, Norman G, Sperotable L. How medical students learn spatial anatomy. Lancet. 2001;357:363-4.

www.kci.go.kr

해부학적 구조의 공간 인지 향상을 위한 아래이틀신경차단 교육용 3차원 시각화 애니메이션 개발

간추림: 아래이틀신경차단(inferior alveolar nerve block, IANB)는 복잡한 해부학적 구조로 인해 치의학 전공 학생들의 임상교육에 어려움이 있다. 아울러 기존 2D 중심 교육 자료로는 복잡한 입안 점막, 아래턱뼈(mandible), 신경 주행 경로 간의 3차원적 구조를 체계적으로 이해하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구의 목적은 기존 2D 교육 자료의 단점을 보완하기 위하여 IANB의 해부학적 구조와 술기 경로를 통합적으로 이해할 수 있는 3D 애니메이션 영상을 개발하는 것이다. 머리계측 지표(cephalometric landmarks)을 기준으로 아래턱뼈의 공간적 위치를 정렬하였다. ZBrush를 활용한 고해상도 Sculpting과 Autodesk Maya를 활용해 애니메이션 및 렌더링 과정을 거쳐 아래턱뼈, 신경, 혈관 등을 정밀하게 구현하였다. 최종 개발된 3D 애니메이션은 입안 점막, 아래턱뼈, 신경 주행 경로를 하나의 시야에서 통합적으로 시각화하고 입안 점막을 투명화하여 주사바늘의 주입 경로와 마취 대상 신경 사이의 위치관계를 명확히 제시하였다. 실제 진료 현장과 같은 몰입감을 위해 시술자 시점(operator's view) 카메라 각도와 시각적 강조 기법을 적용하였으며, 실제 임상에 적용 가능하도록 술기 순서와 동일하게 구성하여 표준화 가능성을 높였다. 최종 제작된 교육 영상은 FHD(Full HD, 1920 × 1080 px) 해상도로 구현하였고, YouTube 플랫폼에 게시하여 누구나 접근 가능하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 3D 애니메이션 교육 영상은 입체적인 해부학적 구조에 대한 이해를 바탕으로 치과 국소마취의 기본 원리를 설명할 수 있는 유용한 교육적 도구가 될 수 있으며, 시각화 기반 접근법은 다양한 임상 술기 교육 콘텐츠로 확장 가능한 교육 모델로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

찾아보기 낱말: 치과 국소마취, 아래이틀신경차단, 3D 애니메이션, 메디컬일러스트레이션, 해부학 교육 콘텐츠

www.kci.go.kr